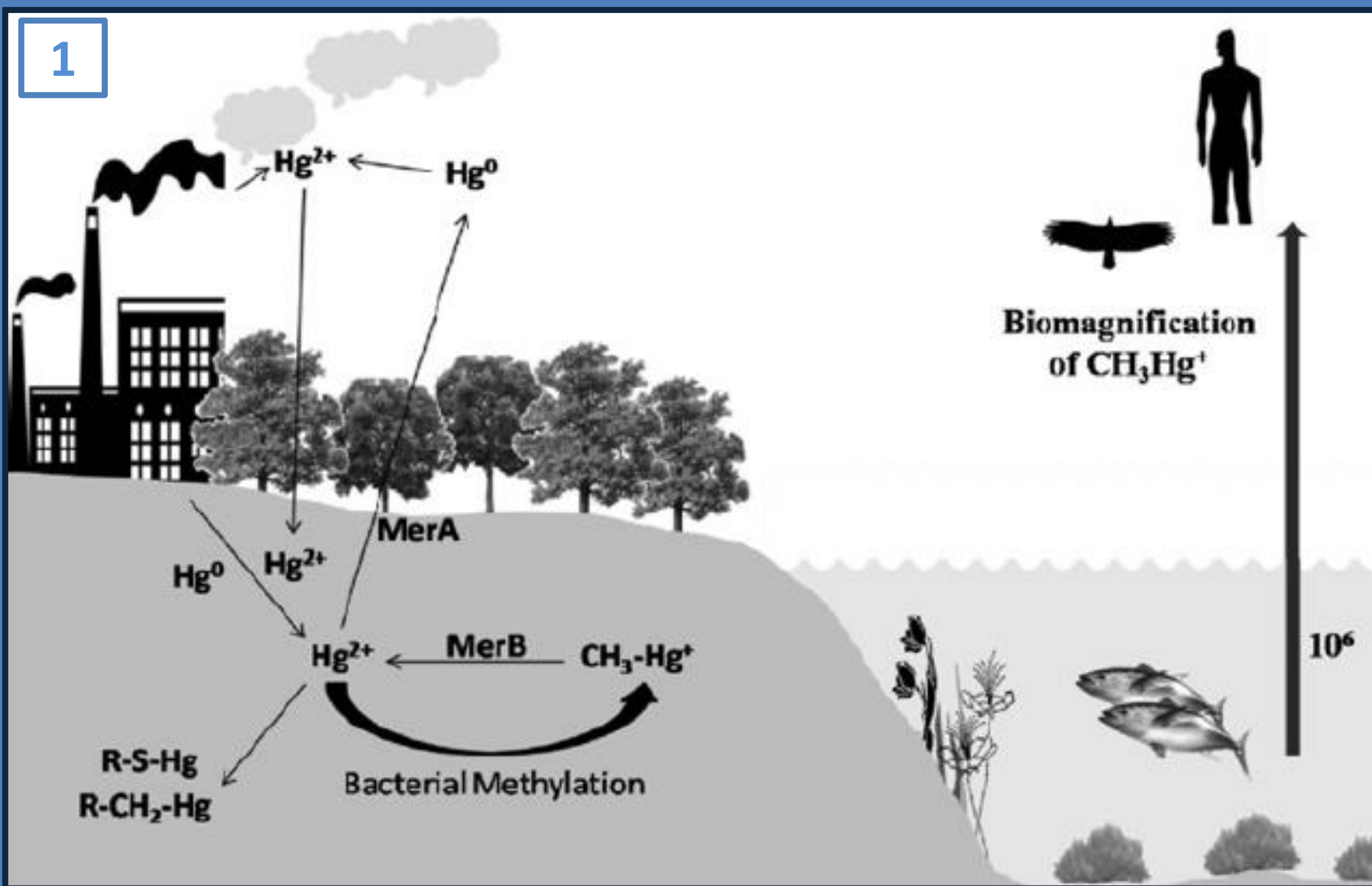


Cada vegada augmenta més l'alliberament de mercuri al medi ambient per part de diferents indústries i els mètodes actuals de remediació no són econòmics i/o respectuosos amb l'entorn. Per això la **bioremediació** s'està imposant cada cop com la millor alternativa. Seguidament s'exposaran diferents tecnologies basades en **bioreactors de llit fix amb biofilms bacterians** immobilitzats pel tractament d'aigües residuals de la indústria clor-alcalina.

## PROBLEMÀTICA DEL MERCURI

El mercuri elemental ( $\text{Hg}^0$ ) provinent de les indústries arriba a l'atmosfera i s'oxida a mercuri iònic ( $\text{Hg}^{2+}$ ) el qual es diposita a la superfície terrestre. Llavors es transforma en metilmercuri que és absorbit pels organismes aquàtics que el **bioacumulen** al no poder-lo eliminar i després es **biomagnifica** augmentant de nivell en els organismes de la cadena tròfica (Fig. 1). <sup>(1)</sup>

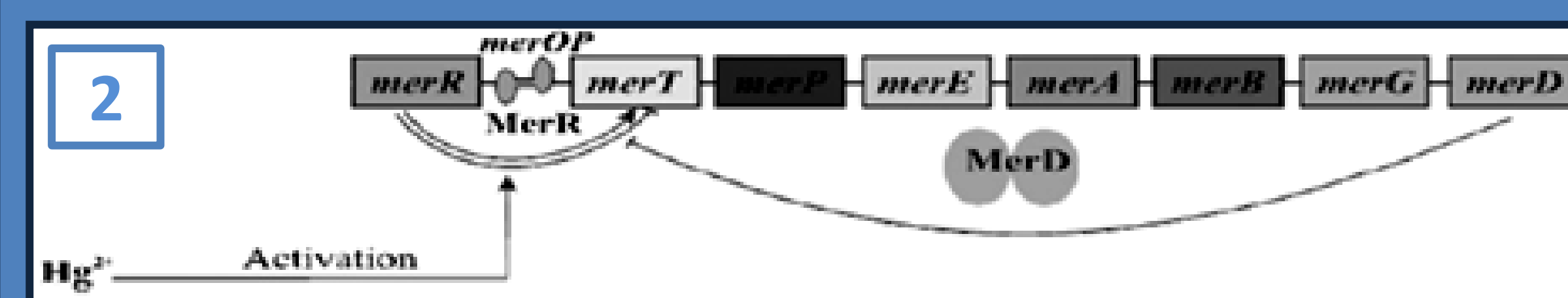
L' $\text{Hg}^{2+}$  és molt reactiu i inactiva enzims i el metilmercuri pot travessar la barrera hematoencefàlica i desmetilar-se, així que els dos ocasionen problemes de salut (principalment desordres neurològics). <sup>(2)</sup>



**Fig.1:** esquema del cicle del mercuri residual de les indústries alliberat al medi ambient, amb les transformacions més rellevants i la seva problemàtica acumulació en peixos i en aus i humans que els consumeixen. <sup>(1)</sup>

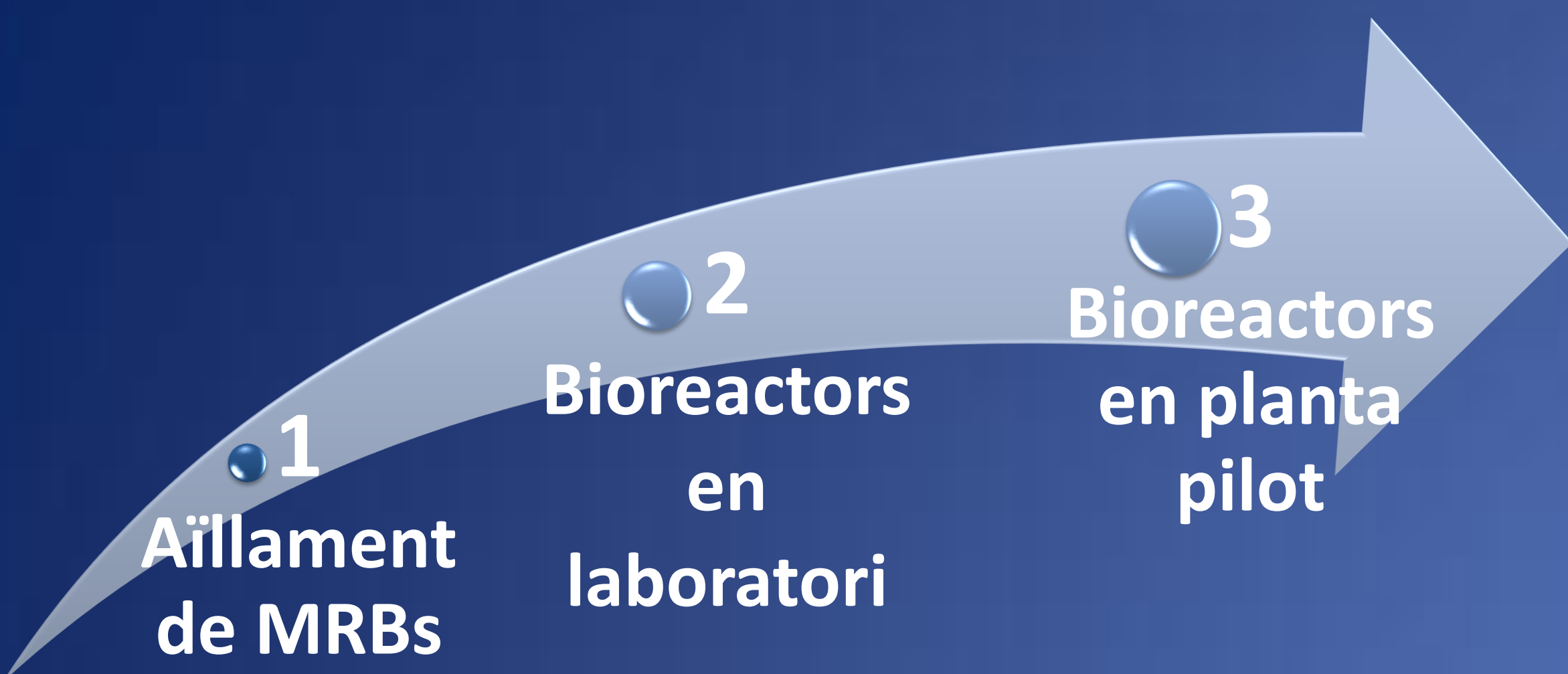
## POTENCIAL DELS MICROORGANISMES

Hi ha bacteris resistent al mercuri (MRB) gràcies a la presència de l'operó *mer* (Fig. 2), que codifica la **mercuri reductasa** (MerA) que pot reduir l' $\text{Hg}^{2+}$  en  $\text{Hg}^0$  que no és tòxic. A més, hi ha resistent d'ampli espectre que contenen l'**organomercurial liasa** (MerB) la qual separa el metil de l' $\text{Hg}^{2+}$ . <sup>(1)</sup>



**Fig.2:** representació d'un operó *mer* amb els dos gens de resistència *merA* i *merB*, els gens dels repressors *merR* i *merD* i altres gens de proteïnes implicades en el transport del mercuri. <sup>(1)</sup>

## METODOLOGIA DE LA BIOREMEDIACIÓ USANT MRBs



### 1 Aïllament de MRBs

#### Mostreig

- Zones amb contaminació d' $\text{Hg}$  o mostres marines <sup>(3)</sup>

#### Sembra

- Medis com NeM<sup>(4)</sup> o SWNA<sup>(3)</sup> (marins) amb mercuri

#### Resembra

- Colònies crescudes amb més mercuri <sup>(3)</sup>

#### Identificació

- Seqüenciació rDNA 16S <sup>(3)</sup>

#### Proves caracterització

- MIC
- Test de volatilització del mercuri <sup>(4)</sup>
- Test de formació de biofilms <sup>(5)</sup> ...

### 2 Bioreactors en laboratori

#### Neutralització aigua residual

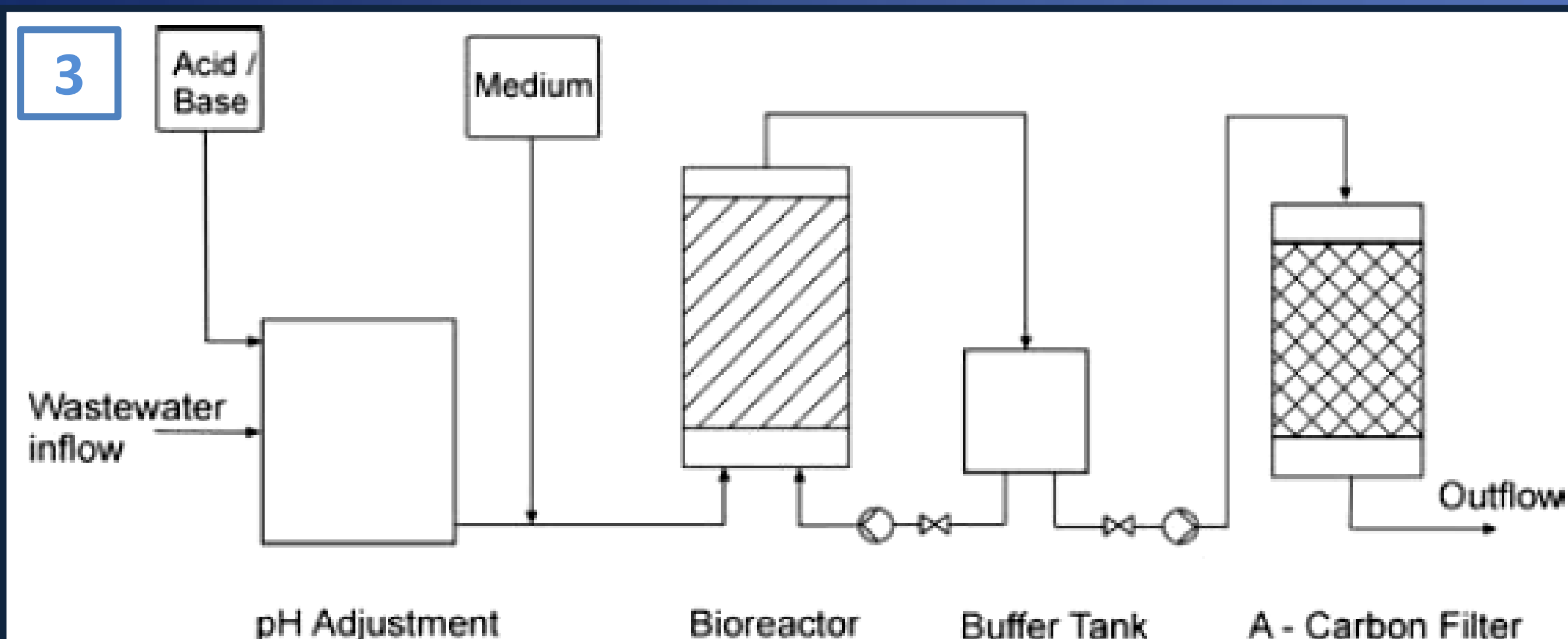
#### Tria material suport pel biofilm

#### Circulació l'indol +medi cultiu → Formació biofilm

#### Monitorització del procés: control $[\text{Hg}]$ i $[\text{NaCl}]$ <sup>(6)</sup>

**Fig.3:** procés complet d'una planta pilot que va tractar les aigües residuals d'una indústria clor-alcalina d'Alemanya durant 8 mesos. Al sistema funcionava contínuament per tractar  $4\text{m}^3/\text{h}$  d'aigua (uns  $100\text{m}^3$  al dia). <sup>(2)</sup>

**Fig.4:** resultats de la planta pilot: fluctuacions del mercuri de l'afluent,  $\text{Hg}$  de l'efluent del bioreactor i  $\text{Hg}$  després del filtre reduït a nivells permesos del seu alliberament al medi ambient. <sup>(2)</sup>

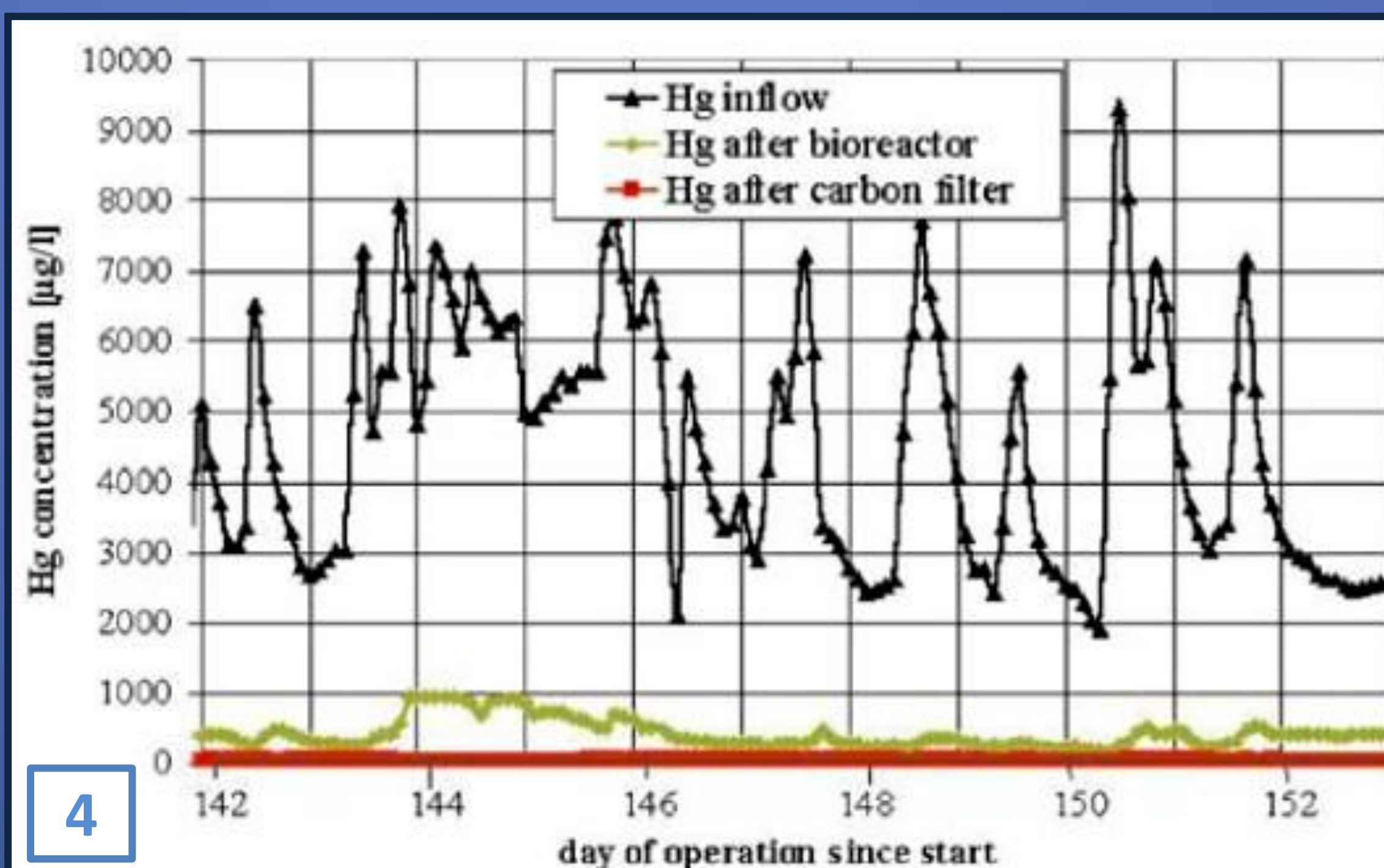


### 3 Bioreactors en planta pilot

Bioreactor d' $1\text{m}^3$  amb **pedra tosca** i set soques de *Pseudomonas*

**Condicions:**  
 $[\text{Hg}]=2\text{-}10\text{mg/l}$ ,  
 $[\text{Cl}]=50\text{g/l}$ ,  
 $T_{\text{màx}}=47^\circ\text{C}$

Després del filtre de **carbón actiu** → Retenció mercuri=**98%** <sup>(2)</sup>



## VALORACIÓ

-**Biofilms multiespècies** milloren els resultats de retenció d' $\text{Hg}$  davant condicions canviants. <sup>(5)</sup>

-Sistema robust, **pocs problemes**: fallada d'operació del bioreactor <sup>(6)</sup> i estressos que redueixen el biofilm ( $[\text{Hg}]$ ,  $[\text{Cl}]$  o temperatura molt elevades...). <sup>(2)</sup>

## COMPARACIÓ AMB ALTRES MÈTODES

- **Menys de la meitat dels costos** del IEMB (bioreactors amb membranes d'intercanvi iònic) <sup>(2)</sup> → Tècnica més usada actualment. <sup>(7)</sup>
- **Sense productes tòxics** com els mètodes químics. <sup>(8)</sup>
- **Sense biomassa carregada amb mercuri** com la bioadsorció o la bioacumulació. <sup>(6)</sup>

## CONCLUSIONS

-Tecnologia de bioremediació **econòmica**, **ecològica** ja que funciona a temperatura ambient, requereix **poca energia** elèctrica i **no** usa productes químics. <sup>(9)</sup>

- Sistema biològic que presenta una **major especificitat** que els mètodes físics i químics, una idoneïtat per metodologies *in situ* (sense l'ús de productes químics tòxics) i un gran potencial de **millora** mitjançant l'**enginyeria genètica**.

- A gran escala són difícils de trobar degut a la **reticència del mercat** per acollir noves tecnologies i a la **difficultat** inherent per reproduir aquests processos a **gran escala**. <sup>(8)</sup>

## BIBLIOGRAFIA

1. Dash HR, Das S. Int Biodeterior Biodegradation (2012) 75:207-213.
2. Wagner-Döbler I. Appl Environ Microbiol (2003) 62:124-133.
3. De J, Ramaiah N. Ecol Indic (2007) 7:511-520.
4. Pepi M, Gaggi C, Bernardini E, Focardi S, Lobianco A, Ruta M, et al. Int Biodeterior Biodegradation (2011) 65:85-91.
5. von Canstein H, Kelly S, Li Y, Wagner-Döbler I. Appl Environ Microbiol (2002) 68:2829-2837.
6. von Canstein H, Li Y, Timmis KN, Deckwer W-D, Wagner-Döbler I. Appl Environ Microbiol (1999) 65:5279-5284.
7. Layman's Report: Removal of mercury from industrial wastewater by bacteria.
8. Valls M, de Lorenzo V. FEMS Microbiol Rev (2002) 26:327-338.
9. Wagner-Döbler I, von Canstein HF, Li Y, Timmis KN, Deckwer WD. Environ Sci Technol (2000a) 34:4628-4634.